B7

日本語ラ行子音の調音:リアルタイム MRI による観察

前川 喜久雄（国立国語研究所 音声言語研究領域）
kikuo@ninjal.ac.jp

1. 問題のありかと本発表の目標

国際音声学協会が発行している Handbook (1999)には、IPA（国際音声記号）による諸言語音声の転記例のひとつとして日本語の例も掲載されている。故岡田秀穂氏による転記案である。岡田案における IPA の用法はいくつかの点で特異なものであるが、就中、日本語（標準語）のラ行子音に記号[ɽ]を充て、これを voiced post-alveolar flap（声後部歯茎はたき音）と説明していることには当惑を感じる研究者が多いと思われる。しかし管見の限り、この問題が正面切って論じられたことはない。その原因は、おそらく、調音運動の観測データの不足にある。客観的なデータが存在しない状態でこの問題を議論しても、「私にはこう聞こえる」的な水掛け論に終始する可能性が高いからである。本稿では、最新の調音運動観測技術がもたらすデータを分析することによって、この問題の解決を試みる。

2. 岡田案の問題点

図 1 に Handbook に掲載されている日本語の子音表を示す。多くの研究者がこの表に感じる問題点は以下の三点であろう。①調音位置について、本来 IPA では retroflex にあてられている[ɽ]を postalveolar に用いていること、②やはり調音位置について、IPA では閉鎖音に関しては dental, alveolar, postalveolar の三位置を区別しないが、岡田案ではラ行音を postalveolar に特化して用いていること、③調音様式について、IPA では tap（たたき音）と flap（はたき音）を区別していないが、岡田案では flap に特定していること。

	Bilabial	Dental	Alveolar	Post-alveolar	Palatal	Velar	Uvular	Glottal
Plosive	p b	t d				k g		
Affricate			t^s					
Nasal	m		n				ɴ	
Flap				ɾ				
Fricative			s z					h
Approximant					j	w		

図 1．IPA Handbook 掲載の日本語子音表（岡田案）

このうち調音様式が tap か flap かについては、そもそも両者をどう区別するかという問題がある。Catford (1977)は tap における声道閉鎖調音が舌尖の単線的な往復運動であるのに対し、flap では運動の始点と終点が異なっており、運動の過程で瞬間的に接触（閉鎖）が生じるとしている。そして"an example of such a flap is the 'retroflex flap' of numerous Indian and African languages"と述べたうえで、"from this retroflex position somewhere behind the anterior arch of the hard palate, it shoots forward and downwards, the underside of the tongue-rim

momentarily striking the palate on the way"と述べている（p.129 下線は前川）。Ladefoged (1993, p.168)の説明もこれに近い。以下では、閉鎖の形成に先立って舌尖が反って後退したあと前進に転じ、声道の閉鎖が舌尖下面と上顎（口蓋）によって sub-laminal に形成されるのが flap の特徴であるとみなすことにする。

3. 観測手法とデータ

これらの問題を解明するためには、子音のための声道閉鎖が生じている upper articulator の位置はどこか、閉鎖の形成に関わる lower articulator は何か、そして lower articulator はどのように運動しているか等を知る必要がある。これはサウンド・スペクトログラフ等による音響分析では把握し難い情報であり、調音運動を直接観測する必要がある。しかし、従来、日本語の調音運動のデータとして公開されているのは、国立国語研究所による X 線映画だけであり（国語研 1978）、その対象も男性話者 1 名に限定されている。

本発表では、発表者らが近年構築を進めている「リアルタイム MRI 日本語調音運動データベース」（仮称; rtMRIDB）のデータを活用して日本語ラ行子音の調音を分析する。これは、医療用 MRI 装置を利用して、発話時の頭部正中矢状断面を撮像した動画データである。X 線マイクロビーム装置や WAVE 装置が音声器官表面に接着されたセンサーの位置情報を記録するのに対し、rtMRI では気管・喉頭・咽頭・口腔・鼻腔を含む音声器官の全体像が記録される点に最大の特徴があり、空間情報量については従来の観測手段を大幅に凌駕している（図 2 参照）。一方、空間解像度を維持したまま、撮像速度を向上させるのは容易でなく、今回利用するデータの場合、毎秒約 14 フレームに留まっている。

なお、MRI による調音運動観測手法としては、同期信号に従って繰り返し生成した発話のデータから動画を構成する「同期法」によるものが従来から知られているが（Masaki et al. 1999）、本発表で分析するデータはこの手法によるものではなく、ただ一回の発話がそのまま記録されたデータである。「リアルタイム」という名称はそこに由来している。

rtMRIDB には現在、東京出身の男性話者 11 名と女性話者 4 名のデータ、および近畿方言話者男女各 2 名のデータが収録されているが、本発表ではそのうち解析結果が現時点で利用可能な東京出身男性話者 7 名分のデータを分析する。頭部正中矢状断面を 256×256 ピクセル（1 ピクセルが 1 ㎜に該当）、スライス厚 10mm、毎秒約 14 フレームで撮像した。話者の年齢は 27～67 歳の範囲に分布しており、平均 53 歳である。岡田案の観察対象となった男子学生はこの年齢範囲に属していると考えられる。

rtMRIDB には様々な項目の発話が記録されているが、今回は日本語のモーラリストを発話した MU 項目のラ行音モーラ（ラリルレロリャリュリョリェ）を分析する。また対称の目的でサ行モーラ（サシスセソシャシュショシェスィ）のデータも利用する。

4. 測定手法

ラ行子音の調音に関する情報を収集するために、ラ行子音の閉鎖区間における閉鎖位置の情報および舌の全体的形状を測定し、さらに時間的に 1 フレーム先行する直前フレームでの測定も実施した。以下に手順を述べる。

①最初に測定のタイミングを決定する。そのためにラ行子音による閉鎖の開放が視認さ

れるフレームを決定する。そして、そのフレーム直前の 2 フレームのうち、声道の閉鎖がより明瞭に観察されるフレームを測定対象フレームとして採用する。直前 2 フレームの間に顕著な差が認められない場合は、開放直前のフレームを対象とした。図 2 の場合、右端が閉鎖の開放が視認されるフレームであり、左端の 0045 フレームが測定対象フレームとして選択される。測定作業には rtMRIVuewer（浅井他 2018）を利用した。

図 2．話者 s9 による/ra/の rtMRI 動画

②次に測定対象フレームにおいて、表 1 に示す 7 点の座標を測定する。c1, c2 は子音による声道閉鎖の位置に関する情報であり、v1-v4 は声道閉鎖区間における舌の全体形状に関する情報である。このうち v1 と v4 は解剖学的な概念であるが、v2 と v3 は舌の輪郭に関する音声学的な概念であることに注意されたい。典型的な apical の調音においては v1 と v2 の、また或る種の laminal な調音においては v2 と v4 の区別がつかなくなることがある。その場合、両者には同じ座標値を与えている。最後に ANS と PNS は頭蓋骨のサイズに関する情報であり、声道サイズの個人差を正規化するために利用する。図 3 に表 1 の各点の測定例を示す。MRI 画像の原点は左上隅にある。X 軸は右側が正、Y 軸は下側が正の値をとり、画像上の 1 ピクセルが 1 ㎜に対応する。

表 1．測定対象

名称	説明
c1	声道閉鎖区間の前端（口唇側）
c2	声道閉鎖区間の後端（声門側）
v1	舌尖の先端部(apex)
v2	舌輪郭の最高点
v3	舌輪郭の最奥点
v4	舌端の最後部
ANS	前鼻棘
PNS	後鼻棘

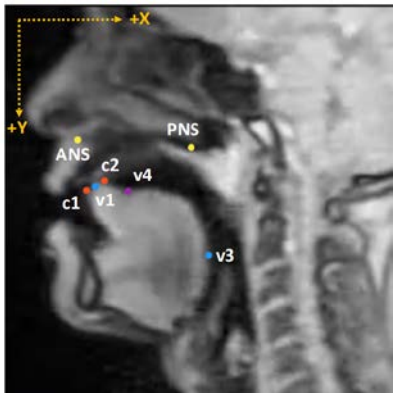

図 3．MRI 画像の測定例（s4 の/ra/）

5. 分析

以下の分析では表 1 ないし図 3 の測定点の座標を正規化したデータを利用する。正規化前の座標系において ANS と PNS を結ぶ直線が X 軸となす角度を θ とすると、正規化された座標系は ANS を原点とし、ANS と PNS の距離を単位(unit)とする座標系を原点のまわりに $-\theta$ だけ回転させたものになる。

5.1. 調音位置

最初に子音による声道閉鎖の位置を分析する。図 4 は話者 7 名のデータの散布図である。左パネルが c1、右パネルが c2 であり、c1xnr, c1ynr はそれぞれ正規化された c1 の X 座標、Y 座標である（以下同様）。サンプルは非口蓋化子音/r/（ラルレロの子音）と口蓋化子音/rj/（リリャリュリョリェの子音）によって色分けされている。

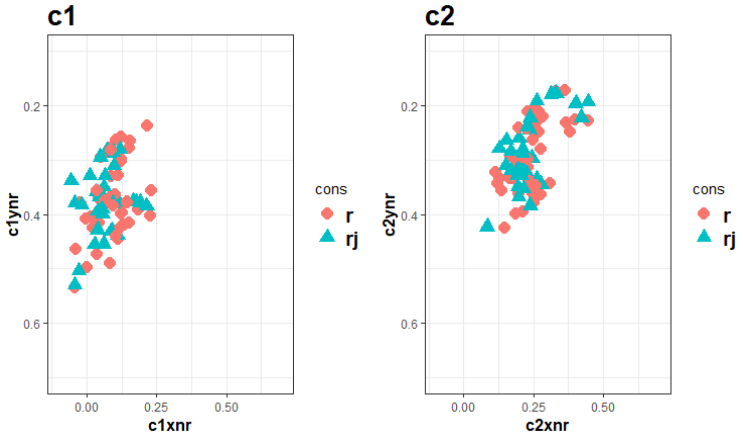

図 4. ラ行子音の正規化された c1, c2 の散布図

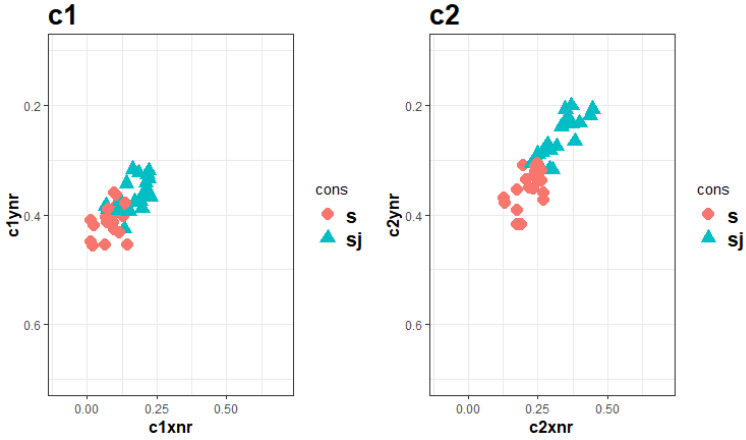

図 5. サ行子音の正規化された c1, c2 の散布図

図 4 だけを見ていても子音の調音位置を判断することは困難である。そこで、比較のために図 5 に同じ話者群によって発話されたサ行モーラ（サシスセソシャシュショシェスィ）のデータを示す。図 5 でも非口蓋化子音/s/と口蓋化子音/sj/を区別しているが、サ行では、両者間には明瞭な分布の差が認められ、/s/が分布している領域を歯茎、/sj/が分布している領域を後部歯茎とみなすことができる。

なお、歯茎の中には歯音(dental)が含まれている可能性もあるが、MRI 画像には歯列が写らないので正確には区別できない。

一方、図 4 のラ行子音では、非口蓋化子音と口蓋化子音の分布に相違がみられず、歯茎から後部歯茎にかけての位置に偏りなく分布している。両図の比較から、日本語ラ行子音の調音位置を後部歯茎(postalveolar)に限定して指定する根拠はないことが分かる。なおラ行子音に口蓋化による調音位置の変化が生じていないことも新知見であり、今後、別稿で論じる予定である。

5.2. 調音様式

2 節末に述べた tap と flap を区別する調音上の特徴は、今回の測定点にどのように翻訳できるだろうか。まず閉鎖時点における c1, c2 と v1 の相対的な前後関係の比較が考えられる。典型的な flap を特徴づける sub-laminal な調音が生じていれば、c1, c2 の X 座標値はともに v1 よりも小さな値をとるはずである。一方 tap においては、apical な調音が行われると考えれば、v1 の X 座標値は必ず c2 よりも小さく、場合によっては c1 よりも小さな値をとるは

ずである。

次に v1（舌尖）と v4（舌端）の上下関係の比較が考えられる。典型的な flap 調音においては舌尖が反りかえるため、舌端よりも高く位置するはずであり、その場合、v1 の Y 座標値は v4 の Y 座標値よりも小さい値をとることが期待される。

最後に舌尖の運動方向を検討する必要がある。直前のフレームから、測定対象フレームにかけての舌尖の運動は、典型的な flap においては前進に下降が伴うはずであり、一方典型的な tap においては前進に上昇が伴うはずである。

以上の予想を念頭において、実際に観察されたデータを検討しよう。図 6 のヒストグラムは、正規化後の c2 と v1 の X 座標値の差のヒストグラム（青：右側）と c1 と v1 の X 座標値の差のヒストグラム（ピンク：左側）を重ね書きしたものである。右のヒストグラムからは、例外なく c2 が v1 よりも後方（声門側）に位置していることが分かる。一方、左のヒストグラムからは c1 と v1 の間に前後位置の確定的な関係は存在しないことが分かる。

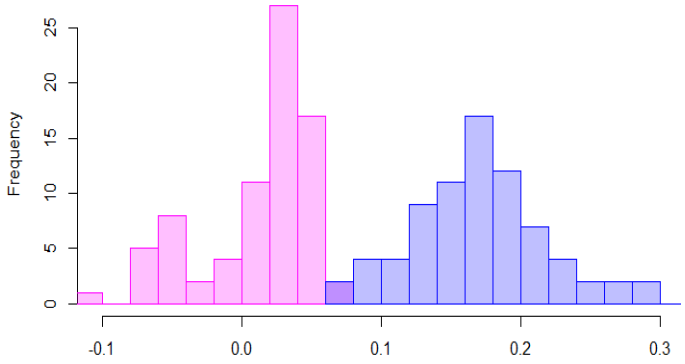

図 6. 正規化された c1, c2 と v1 の X 座標の差の分布

以上から、ラ行子音による声道の閉鎖は舌尖の上面ないし舌尖の先端(point/apex)と上顎によって形成されており、舌尖の下面による sub-laminal な閉鎖は観察されないことが分かった。

次に図 7 は直前フレーム（測定対象フレームのひとつ前のフレーム：左パネル）と測定対象フレーム（右パネル）における v1（舌尖）と v4（舌端）の位置を比較した散布図である。いずれのフレームにおいても舌尖は舌端よりも低い位置（すなわち Y 軸座標値が大きい領域）に分布していることが分かる。また、舌尖の位置は直前フレームから測定対象フレームにかけて上昇しているものが多いことも推測できる。

図 8 は、直前フレームから測定対象フレームにかけての v1 の位置変化を後続母音別に示したグラフである。矢印の起点と終点が直前フレームと測定対象フレームにおける v1 の位置に該当している。サンプルの過半では前進上昇ないし単なる上昇運動が観察されるが、前進下降運動を示すサンプルも稀ではないことが確認できる。前進上昇か前進下降かの相違と後続母音の間には明瞭な関係は認められない。

6. 議論と結論

5.1 節のデータはラ行子音の調音位置がサ行子音と同じ領域に広がっていることを示していた。また 5.2 節のデータは、ラ行子音の声道閉鎖は sub-laminal な閉鎖ではなく、舌尖の先端ないし上面を用いて行われており、測定対象フレームにおいても直前フレームにおいても舌尖よりも舌端の方が高く位置していることを明瞭に示していた。

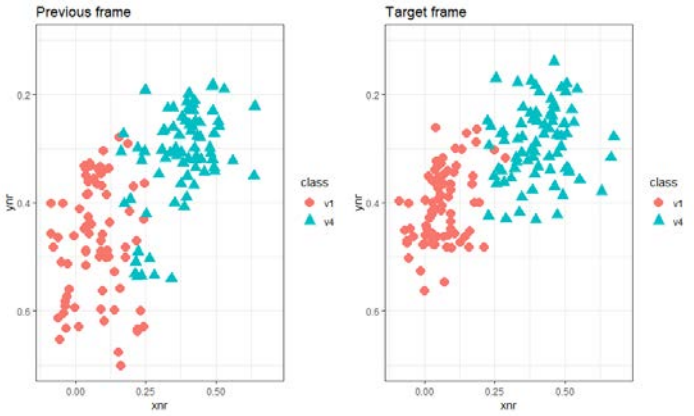

図 7. 直前フレーム（左）と測定対象フレーム（右）における v1（○）と v4（△）の分布

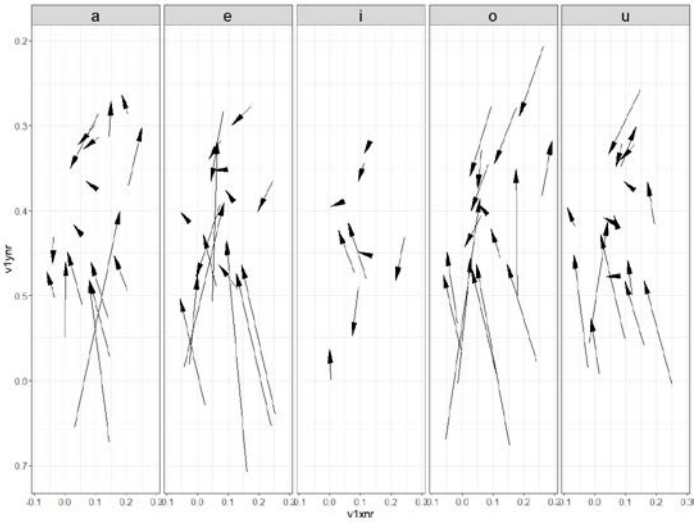

図 8. 後続母音別に示した直前フレームから測定対象フレームにかけての v1 の運動

解釈の余地が残るのは、図 8 に認められた舌尖が前進下降パタンを示す調音運動である。この調音運動は声道の閉鎖に先立って舌尖が下降する点において、flap 的な特徴をもっているとみなすことができなくはない。しかし閉鎖が sub-laminal でない点と舌尖が舌端よりも低く位置している点において典型的な flap とみなすには無理がある。

結局、日本語ラ行子音の調音様式は tap or flap と指定するのが妥当である。仮にどちらが本質的であるかを強いて選択するならば、上述の問題点に配慮して tap とすべきであろう。

結論として、日本語ラ行子音の調音位置は歯茎ないし後部歯茎であり、調音様式は基本的に tap であり、時に flap 的な調音もおこなわれる。IPA による日本語ラ行子音の転記にあたっては、[ɽ]ではなく[ɾ]を利用することが望ましい。

謝辞：rtMRIDB にデータを提供していただいた話者の方々に感謝します。本研究は東京外国語大学大学院国際日本専攻での講義をもとにしています。講義に参加してくれた学生諸君に感謝します。本研究は科学研究費 17H02339 による共同研究の成果であり、一部に国立国語研究所コーパス開発センターによる支援も受けています。

参考文献

Catford, J.C. *Fundamental Problems in Phonetics*. Edinburgh University Press, 1977.

The International Phonetic Association. *Handbook of the International Phonetic Association: A Guide to the Use of the International Phonetic Alphabet*. Cambridge University Press, 1999.

Ladefoged, P. *A Course in Phonetics* (3rd ed.). Harcourt Brace Jovanovich College Publishers, 1993.

Masaki, S., M. K. Tiede, K. Honda, Y. Shimada, I. Fujimoto, Y. Nakamura, and N. Ninomiya. "MRI-based speech production study using a synchronized sampling method." *Journal of Acoustical Society of Japan (E)* 20 (5), pp. 375-379, 1999.

浅井拓也・菊池英明・前川喜久雄「調音運動動画アノテーションシステムの開発と応用」日本音声学会第 32 回全国大会予稿集，pp.201-206，2018（https://kikuchiken-waseda.github.io/MRIVuewer/ で利用環境を公開）

国立国語研究所 『X 線映画資料による母音の発音の研究：フォネーム研究序説』国立国語研究所報告 60，秀英出版，1978（映画資料を https://mmsrv.ninjal.ac.jp/x-sen/ で公開）.